

**Handlungsfelder systematisch erkennen**

# Arten der Ressourcenverschwendungen in der Produktion

A. Weyand, S. Seyfried, P. Schraml, M. Beck, M. Weigold

Angesichts der sich weiter zuspitzenden Klimakrise gilt es unnötige Verbräuche von Ressourcen in der Produktion zu vermeiden. Basierend auf den Lean-Verschwendungsarten werden in diesem Beitrag sogenannte Ressourcenverschwendungsarten erarbeitet, die typische Stellen der Verschwendungen von Ressourcen in produzierenden Unternehmen klassifizieren. Diese können als Grundlage dienen, um geeignete Maßnahmen zur Eliminierung von Ressourcenverschwendungen umzusetzen.

**STICHWÖRTER**

Energieeffizienz, Fertigungstechnik, Nachhaltigkeit

## **Types of resource waste in the production area**

With a view to recent developments in the climate crisis, it is important to avoid unnecessary resource consumption in production. Based on lean waste types, this article identifies so-called resource waste types that summarize typical points of resource waste in manufacturing companies. These types may serve as a basis for implementing suitable measures to eliminate resource waste.

## 1 Einleitung

Die Klimakrise ist inzwischen so weit fortgeschritten, dass davon auszugehen ist, dass das zentrale Ziel des Pariser Klimaabkommens, die globale Erwärmung auf unter 1,5 °C zu begrenzen [1], wahrscheinlich nicht mehr erreicht werden kann [2]. Umso dringlicher ist es, bestehende und teilweise leicht nutzbare Resourceneffizienzpotenziale in der Industrie auszuschöpfen, denn der Anteil der Industrie an den ausgestoßenen Treibhausgasen beträgt allein in Deutschland aktuell 24 % [3]. Wegen gestiegener Preise [4], zum Beispiel für Energie, gilt es Ressourcen effizient zu nutzen. Dies ist beispielsweise nicht der Fall, wenn Maschinen in Nicht-Produktionszeiten im Leerlauf betrieben werden und dabei elektrische Energie benötigen oder wenn veraltete Technologien eingesetzt werden, die mit höheren Ressourcenverbräuchen einhergehen. Hier besteht die Möglichkeit, Energiekosten einzusparen und gleichzeitig einen Teil der energiebedingten Treibhausgasemissionen zu vermeiden.

Ähnlich verhält es sich bei Materialverbräuchen: Sparen die Unternehmen Material ein, senken sie sowohl ihre Kosten als auch die Emissionen, welche mit der Herstellung des Materials verbunden sind. Um produzierenden Unternehmen ein Werkzeug an die Hand zu geben, um Stellen mit Ressourcenverschwendungen im Unternehmen zu identifizieren und damit eine Anregung zu geben, wo Ressourcen in der Produktion eingespart werden können, werden im Folgenden „Ressourcenverschwendungsarten“ vorgestellt.

## 2 Grundlagen

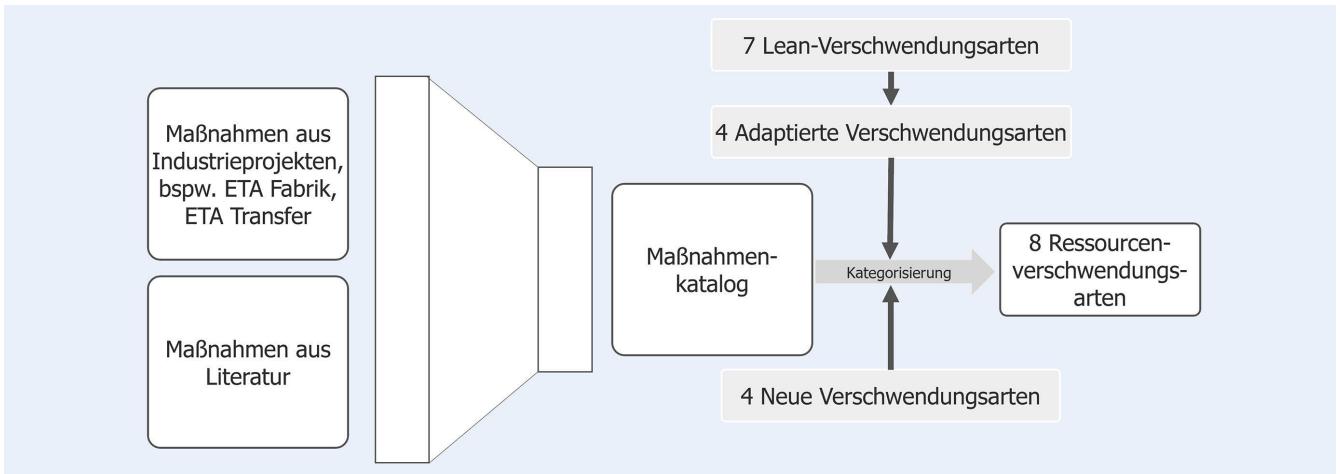
Zur Erarbeitung typischer Ressourcenverschwendungsarten, die in der Industrie auftreten, wird zunächst das Themenfeld der Ressourceneffizienzmaßnahmen beleuchtet und anschließend in Kürze auf die Lean-Verschwendungsarten eingegangen, die ein erprobtes System der Kategorisierung von Verschwendungen bieten.

### 2.1 Ressourcen und Ressourceneffizienzmaßnahmen

Dieser Beitrag verwendet den Begriff Ressourcen gemäß der VDI-Norm 4800 zur Ressourceneffizienz [5] im Sinne der betrieblichen Ressourcen. Damit ist Energie als wichtige Ressource im industriellen Kontext inkludiert, genauso wie verwendete Rohstoffe, Betriebs- und Hilfsstoffe. Nicht enthalten sind beispielsweise personelle oder finanzielle Ressourcen.

In der Literatur finden sich zahlreiche Auflistungen von Maßnahmen, um die Ressourceneffizienz, also das Verhältnis aus Ressourcenaufwand zu gewünschtem Nutzen [5], zu steigern. Diese Auflistungen können bereits eine Gruppierung nach verschiedenen Kategorien enthalten, in der VDI-Norm 4800 beispielsweise gemäß Bezug zur Produktion oder zum Produkt sowie nach einflussnehmenden Handelnden im Betrieb [5].

*Erlach und Westkämper* [6] sowie *Dehning* [7] kategorisieren die Maßnahmen nach acht Gestaltungsrichtlinien, darunter die Ausrichtung auf den optimalen Betriebspunkt oder die Reduktion des Energiebedarfs im Normalbetrieb durch technische Neuerungen. Anzumerken ist hier, dass es sich um Maßnahmen für Energieeffizienz handelt, in denen Maßnahmen für andere Ressourcen



**Bild.** Methodisches Vorgehen zur Erstellung der acht Ressourcenverschwendungsarten. *Grafik: PTWTU Darmstadt*

neben Energie nicht direkt inbegriffen sind. Maßnahmen, die in weiteren Quellen identifiziert wurden (wie in [8–12]) stellen Maßnahmen mit unterschiedlichem Detailgrad beziehungsweise auf unterschiedliche Weise dar. So gehen Schebek *et al.* [12] sehr spezifisch auf Zerspanungsprozesse ein und schlagen Maßnahmen wie Hinweise zum Einsatz von Bioschmierstoffen statt herkömmlichen, mineralölbasierten Kühlenschmierstoffen vor.

Schmidt *et al.* [11] hingegen nennen Maßnahmen auch für andere Maschinen beziehungsweise Produktionsbereiche, allerdings aufgelistet und dargestellt aus Sicht konkreter Unternehmen, die diese Maßnahmen bereits umgesetzt haben. In der VDI 4800 werden 37 übergeordnete Strategien aufgeführt und mit beispielhaften, konkreteren Maßnahmen erläutert. Mit den entwickelten Ressourcenverschwendungsarten wird das Ziel verfolgt, möglichst wenige, übergeordnete Kategorien zu erstellen, unter denen verschiedene Maßnahmen zusammengefasst werden können. Zudem bietet die Benennung der Arten der Ressourcenverschwendungen eine Grundlage, um in der Praxis zielgerichtet nach diesen suchen zu können und anschließend passende Maßnahmen zu finden, um diese Verschwendungen zu eliminieren.

## 2.2. Lean-Verschwendungsarten

Als Basis konkurrenzfähiger Produktionssysteme dienen in vielen Unternehmen Methoden, die angelehnt sind an das Toyota Production System nach Taiichi Ohna [13], auch Lean Production genannt [14]. Neben anderen Gestaltungsprinzipien wie der Einführung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) oder einem auf dem Pull-Prinzip basierenden Materialfluss ist auch die Vermeidung von Verschwendungen (Muda) eines der Gestaltungsprinzipien, um ganzheitliche und schlanke Produktionsysteme zu erreichen.

In der zu Grunde liegenden Literatur werden sieben Verschwendungsarten definiert [15]. Dazu zählt beispielsweise die Überproduktion, das heißt, es wird mehr produziert, als aktuell benötigt. Dies kann an anderer Stelle wiederum dafür sorgen, dass Zwischenlager notwendig werden. Die dadurch entstehenden Bestände sind eine weitere Verschwendungsart, ebenso wie Transport oder auch unnötige Bearbeitungsschritte. Alle Verschwendungsarten können jeweils mit gesteigerten Kosten und dem erhöhten Einsatz von Personalkapazitäten einhergehen [14].

Indem systematisch nach den Verschwendungsarten gesucht und diese eliminiert werden, ist es möglich, Verschwendungen zu vermeiden, das Produktionssystem konsequent auf den Kundennutzen auszurichten und konkurrenzfähig zu agieren [14, 15]. Durch die Eliminierung der Lean-Verschwendungsarten lassen sich zwar unnötige Ressourcenverbräuche bereits vermeiden, allerdings werden mögliche Ressourcenverschwendungen nicht systematisch fokussiert und damit gegebenenfalls Stellhebel nicht identifiziert. Beispielsweise fällt der Austausch von veralteten, ineffizienten Aggregaten in keine der Lean-Verschwendungsarten, birgt aber Potenzial, Energie einzusparen [7, 16]. Aus diesem Grund werden speziell auf das Thema Ressourcen ausgerichtete Verschwendungsarten erarbeitet, die analog zu den Lean-Verschwendungsarten als eine Art Checkliste eingesetzt werden können, um Verschwendungen zu eliminieren und Ressourcenverbräuche zu reduzieren.

## 3 Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen zur Ermittlung der Ressourcenverschwendungsarten ist im **Bild** dargestellt.

Zunächst wurde basierend auf Projekterfahrungen aus Projekten wie ETA-Fabrik [17] und ETA-Transfer [18] Arten der Ressourcenverschwendungen gesammelt, die für mehrere Partnerunternehmen relevant waren und bei denen die Durchführung von Maßnahmen zu Verbesserung geführt haben. Hinzu kamen Maßnahmen aus der Literatur, wie in Kapitel 2.1 beschrieben.

In dem Versuch, diese Verschwendungen in kompakte, übergeordnete Kategorien einzusortieren, wurde auf die Lean-Verschwendungsarten zurückgegriffen. Dabei ist festzustellen, dass die gefundenen Maßnahmen einigen der Lean-Verschwendungsarten direkt zuzuordnen sind. So konnte etwa ein zu hohes Druckluvniveau der Verschwendungsart Überproduktion zugeordnet werden. Transportverluste traten bei den Partnerunternehmen auch im Bereich Ressourcentransport auf, wenn zum Beispiel Dampf oder Druckluft über unnötig lange Wege transportiert oder übertragen wurden und es dabei zu Verlusten etwa aufgrund von Leckagen kam. Verluste durch leerlaufende Aggregate wie Förderbänder wurden in Anlehnung an die Lean-Verschwendungsart Warten in Leerlaufverluste umbenannt.

Die Verschwendungsart der falschen Prozesse und Technologien hatte ebenfalls Überschneidungen zu den identifizierten

**Tabelle.** Auflistung der Ressourcenverschwendungsarten mit kurzer Definition und Beispiel.

Ressourcenverschwendungsart	Definition	Beispiel
1. Ineffiziente Betriebsmittel	Wahl ineffizienter Betriebsmittel	Druckluft- statt Elektroschrauber, schädliche Reinigungsmittel
2. Überdimensionierung	Verlust durch falsche Auslegung und Betriebsweise	Zu große Pumpen, Übermaß bei Rohlingen
3. Ineffiziente Technologieform	Ressourcenverluste durch veraltete Technologien	Glühlampe statt LED, veraltete Maschinen
4. Überproduktion	Produktion überschüssiger Energie/ Ressourcen	Zu hohes Druckniveau, zu hohe Variantenvielfalt
5. Leerlaufverluste	Ressourcenverbrauch bei Produktionsstillstand	Leer laufende Förderbänder
6. Transport- und Übertragungsverluste	Ineffizienter Transport der Energie/ Ressourcen	Zu lange Leitungen
7. Überkapazitäten	Ressourcenverlust durch ungenutzte Skalen- und Synergieeffekte	Mehrere Kälteerzeuger an einer Maschine
8. Prozessverluste	Ressourceneffiziente Prozesse in der Produktion und nichtgenutzte Abwärme	Ungenügende Dämmung, Fehlende Ressourcenrückgewinnung

Maßnahmen. Bei zum Beispiel nicht vorhandener Dämmung an thermisch relevanten Anlagen kann allerdings nicht konkret von falschen Prozessen gesprochen werden, sondern eher von Verlusten in den Prozessen selbst. Aus diesem Grund erfolgte hier eine Umbenennung der entsprechenden Verschwendungsart in „Prozessverluste“. Das Themenfeld der falschen oder ineffizienten Technologien war in derart vielen Partnerunternehmen relevant, dass dies als eigene Verschwendungsart betrachtet wird.

Viele der identifizierten Ressourcenverschwendungsarten ließen sich nicht den Lean-Verschwendungsarten zuordnen, beispielsweise zu groß dimensionierte Anlagen. Demgegenüber gab es aber auch Lean-Verschwendungsarten, die nicht im Zusammenhang mit Ressourcenverbräuchen im Sinne von natürlichen Ressourcen wie Material und Energie standen, wie etwa Warten, was Verschwendung vor allem bei den personellen Kapazitäten zur Folge hat. Aus diesem Grund wurden neue Ressourcenverschwendungsarten in Anlehnung an Kategorien aus der Literatur [6, 7] benannt, um eine Einordnung aller in den Projekten identifizierten Verschwendungsarten zu ermöglichen, und die nicht passenden Lean-Verschwendungsarten gestrichen.

## 4 Ressourcenverschwendungsarten

Im Folgenden werden die acht erarbeiteten Ressourcenverschwendungsarten erläutert. Anzumerken ist, dass in bestimmten Fällen eine Eliminierung der hohen Ressourcenverbräuche produktionsbedingt nicht möglich ist. Es kann beispielsweise mit Sicherheitsvorgaben einhergehen, dass erhöhte Verbräuche im Einzelfall notwendig sind. Der Fokus liegt im Folgenden darauf, typische vermeidbare Ressourcenverschwendungen zu erkennen. Die Auflistung dient als Handlungsorientierung und kann in Form einer Checkliste eingesetzt werden, um die Produktion in Unternehmen auf mögliche Verschwendungen hin zu prüfen.

Die **Tabelle** fasst die acht Ressourcenverschwendungsarten zusammen, jeweils mit kurzer Beschreibung und zugehörigen Beispielen. Sie kann als Checkliste in Unternehmen genutzt werden, um Ressourcenverschwendungen zu identifizieren.

Die acht Verschwendungsarten werden im Einzelnen näher beschrieben:

### 1. Ineffiziente Betriebsmittel:

Die erste Verschwendungsart ist die Nutzung beziehungsweise Wahl ineffizienter Betriebsmittel. Prinzipiell können oft mehrere unterschiedliche Betriebsmittel für eine Aufgabe genutzt werden, der Ressourcenbedarf kann sich aber teils erheblich unterscheiden. Ein typisches Beispiel für die ineffiziente Wahl eines Betriebsmittels sind Drucklufttechnologien, die etwa bei mechanischen Anwendungsfällen effizienter durch elektrisch betriebene Technologien ersetzt werden können [6]. Auch der Einsatz eines elektrischen Förderbandes statt eines Schwerkraftförderers ist ein Beispiel für diese Verschwendungsart.

### 2. Überdimensionierung:

Die Verschwendungsart Überdimensionierung verweist darauf, dass in der industriellen Praxis Anlagen, Aggregate oder Rohlinge überdimensioniert zum Einsatz kommen. Dies bietet zunächst den Vorteil des flexiblen Einsatzes, wenn beispielsweise Anlagen damit künftig auch für höhere Lasten genutzt werden können. Solange dies aber nicht der Fall ist und Komponenten nur für einen Anwendungsfall eingesetzt werden, kann dies dazu führen, dass Elektromotoren außerhalb des Nennpunktes und so außerhalb des Wirkungsgrad-Optimums betrieben werden. Dies hat eine Ressourcenverschwendungen zur Folge. [6, 7]

### 3. Einsatz von ineffizienten Technologien:

Bei der dritten Verschwendungsart handelt es sich um den Einsatz ineffizienter Technologien. Auch wenn die Anschaffung des neusten Stands der Technik für Unternehmen mit finanziellem Aufwand verbunden sein kann, sollte bewusst sein, dass durch den Einsatz alter oder veralteter Technologien Ressourcen verbraucht werden, die sich mit neueren, effizienteren Technologien vermeiden lassen. Dabei kann in Unternehmen geprüft werden, ob sich lediglich einzelne Komponenten von Anlagen durch effizientere austauschen lassen, wenn diese etwa einen hohen Anteil am Gesamtenergiebedarf haben. Typische Beispiele für solche Komponenten sind Elektromotoren oder Schaltschrankkühler [16].

### 4. Überproduktion:

Die Verschwendungsart Überproduktion ist zwar wörtlich von den Lean-Verschwendungsarten übernommen (Kapitel 2.2), hat aber einen anderen Fokus im Kontext Ressourcenver-

brauch. So wird in der Industrie beispielsweise Nutzenergie in Form eines hohen Druckluftniveaus bereitgestellt, welches über dem tatsächlich benötigten Niveau liegt. Verschwendungen durch Überproduktion liegen auch dann vor, wenn mehr Varianten von Produkten oder Teilkomponenten produziert werden als vom Kunden benötigt. Dies kann zum Beispiel dann auftreten, wenn die Variantenvielfalt historisch gewachsen ist und auch Varianten im Portfolio behalten werden, deren Notwendigkeit nicht erneut überprüft oder hinterfragt wird. Das kann in der Produktion zu gesteigerter Komplexität bei den Ressourcenverbräuchen (mehrere Lagerplätze für verschiedene Varianten, höherer Ressourcenbedarf für Lieferung verschiedener Teile) und gegebenenfalls zu ungenutzten Skaleneffekten durch die geringeren Stückzahlen führen. Durch einen Abgleich von bislang erzeugtem Angebot und tatsächlich benötigter Nachfrage (Nutzenergie oder benötigte Produkte/Produktvarianten) kann der Ressourcenbedarf reduziert werden [6].

#### 5. Leerlaufverluste:

An einer Vielzahl von Stellen in Unternehmen können Leerlaufverluste auftreten. Damit ist gemeint, dass Komponenten in Betrieb bleiben, obwohl ihre Funktion aktuell nicht benötigt wird. Auftreten kann diese Verschwendungsart etwa, wenn Maschinen an Wochenenden oder in (längeren) Pausenzeiten dauerhaft betriebsbereit sind oder im Standby-Betrieb laufen. Eine bessere Auslastung der Produktionsanlagen oder ein implementiertes Abschaltmanagement [19] können hier Abhilfe schaffen und Ressourcen einsparen. Weitere Beispiele für Leerlaufverluste sind leerlaufende Förderbänder oder durchgehend laufende Kühlschmierstoffpumpen.

#### 6. Transport- und Übertragungsverluste:

Überschneidungen mit den Lean-Verschwendungsarten gibt es auch bei Transport- und Übertragungsverlusten. Im Ressourcenkontext ist damit gemeint, dass bei der Übertragung von Energie und Betriebsmitteln in der Produktion Verluste entstehen. Diese Verluste können einen erheblichen Anteil der erzeugten Nutzenergie oder der Betriebsmittel entwerten. Als Beispiel ist eine Hydraulikölleitung in einem entsprechenden Aggregat zu nennen, die bei zunehmender Länge eventuell mehr Leckagen, Rohrkrümmungen oder Querschnittserweiterungen aufweist, die zu einem Absinken des Druckniveaus und zu einer Verschwendungen von Ressourcen wie beispielsweise dem Öl führen können [20].

#### 7. Überkapazitäten:

Eine weitere Ressourcenverschwendungsart sind Überkapazitäten. Im Vergleich zu Überproduktion und Überdimensionierung sind damit unnötig vorgehaltene Kapazitäten, wie Betriebsmittel oder Energiewandler, gemeint. Diese zusätzlichen Aggregate verursachen Ressourcenverschwendungen durch benötigte Energie bei der Wartung oder auch Ressourcen zur Herstellung der Aggregate selbst. Durch eine gezielte Nutzung von Skaleneffekten, etwa beim Einsatz einer zentralen Kühlsmierstoffversorgung oder durch den Abgleich der benötigten Nutzenergie mit den installierten Kapazitäten, können Energie und Ressourcen eingespart werden [6]. Ein weiteres Beispiel für diese Verschwendungsart sind mehr installierte Ventilatoren als für eine bedarfsgerechte Belüftung notwendig wären [21].

#### 8. Prozessverluste:

Die letzte Verschwendungsart wird als Prozessverluste bezeichnet. Damit ist eine nicht optimale Prozessgestaltung ge-

meint, die zu Ressourcenverlusten führen kann. Diese nicht optimalen Prozesse können sowohl technische wie organisatorische Ursachen haben. Unter technische Ursachen fallen erhöhte Ressourcenverbräuche aufgrund Verschleiß, ungenügender Dämmung oder ungenutzter Abwärme. Organisatorische Ursachen für eine nicht optimale Prozessgestaltung sind eine unzureichende Berücksichtigung des Ressourcenbedarfs in der Prozessplanung, etwa in Bezug auf die Losgrößenplanung oder die mehrfache Erwärmung des Bauteils, wenn diese Prozesse zusammengelegt werden können [17].

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf den bekannten Lean-Verschwendungsarten und identifizierten Arten von Ressourceneffizienzmaßnahmen wurden in diesem Beitrag Ressourcenverschwendungsarten entwickelt und vorgestellt. Auch wenn die entwickelte Auflistung keine Aussage über die Priorität und das Potenzial möglicher Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht, kann sie als Checkliste eingesetzt werden, deren Punkte in der jeweiligen Produktion auf ihr Vorhandensein geprüft werden können. Somit kann diese Checkliste Unternehmen als Orientierung dienen, um gezielt Stellen von Ressourcenverschwendungen zu identifizieren und anschließend Maßnahmen zur Vermeidung der Verschwendungen umzusetzen.

Für die Weiterbildung von Mitarbeitenden beim Thema Ressourceneffizienz kann diese Liste zudem von Schulungseinrichtungen wie etwa Lernfabriken genutzt werden. Damit kann das Thema Ressourceneffizienz mit exemplarischen Maßnahmen adressiert werden, um Schulungsteilnehmende bei der Optimierung ihrer eigenen Produktion hinsichtlich Ressourceneffizienz zu unterstützen.

## L iteratur

- [1] United Nations: Paris Agreement. Stand: 2015. Internet: [http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf). Zugriff am 13.01.2023
- [2] Meinshausen, M.; Lewis, J.; McGlade, C. et al.: Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2 °C. *Nature* 604 (2022) 7905, pp. 304–309
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hrsg.): Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWK. Stand 20.02.2022. Internet: [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls-2022.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls-2022.xlsx?__blob=publicationFile&v=8). Zugriff am 16.01.2023
- [4] Statistisches Bundesamt: Ausgewählte monatliche Preisindizes auf einen Blick. Stand: August 2022. Internet: [www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Ueberblick/\\_inhalt.html#470536](http://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Ueberblick/_inhalt.html#470536). Zugriff am 13.01.2023
- [5] VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. Berlin: Beuth Verlag 2016
- [6] Erlach, K.; Westkämper, E. (Hrsg.): Energiewertstrom: Der Weg zur energieeffizienten Fabrik. Stuttgart: Fraunhofer Verlag 2009
- [7] Dehning, P.: Steigerung der Energieeffizienz von Fabriken der Automobilproduktion. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag 2017
- [8] Fresner, J.; Bürki, T.; Sittel, H.H.: Ressourceneffizienz in der Produktion: Kosten senken durch Cleaner Production. Düsseldorf: Symposium-Publishing Verlag 2014
- [9] Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. Berlin: Springer Vieweg Verlag 2014
- [10] Schmidt, M.; Schneider, M.: Kosteneinsparungen durch Ressourceneffizienz in produzierenden Unternehmen. *uwf* 18 (2010) 3–4, S. 153–164
- [11] Schmidt, M.; Spieth, H.A.; Haubach, C. et al.: 100 Betriebe für Ressourceneffizienz: Praxisbeispiele und Erfolgsfaktoren. Berlin: Springer-Verlag 2019

- [12] Schebek, L.; Abele, E.; Campitelli, A. et al.: Praxisleitfaden: Ressourceneffizienz in der Produktion – Zerspanungsprozesse. Wiesbaden: Hessen Trade & Invest GmbH 2016
- [13] Ohno, T.: Toyota production system: Beyond large-scale production. Boca Raton: CRC Press 1988
- [14] Dickmann, P.: Schlanker Materialfluss. Heidelberg: Springer-Verlag 2015
- [15] VDI-Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2870 Blatt 1: Ganzheitliche Produktionssysteme: Grundlagen, Einführung und Bewertung Berlin: Beuth Verlag 2012
- [16] Grosch, B.; Petruschke, L.; Burkhardt, M. et al.: Energieeffizienz in der Produktion umsetzen. wt werkstatttechnik 112 (2022) 01/02, S. 97–102. Internet: [www.werkstatttechnik.de](http://www.werkstatttechnik.de). Düsseldorf: VDI Fachmedien
- [17] Abele, E.; Schneider, J., Beck, M. et al.: ETA – die Modell-Fabrik. Energieeffizienz weiter gedacht. Stand: 2018. Internet: [eta-fabrik.de/wp-content/uploads/2020/12/ETA\\_Broschüre\\_web\\_deutsch.pdf](http://eta-fabrik.de/wp-content/uploads/2020/12/ETA_Broschüre_web_deutsch.pdf). Zugriff am 16.01.2023
- [18] ETA-Transfer: Gemeinsam handeln für eine nachhaltige und energieeffiziente Produktion. Projekthomepage. Internet: [eta-transfer.de/](http://eta-transfer.de/). Zugriff am 13.01.2023
- [19] ETA-Transfer: Maßnahmen Energieeffizienz – Energieeffizienzmodus. Internet: [eta-transfer.de/massnahmen/energieeffizienzmodus/](http://eta-transfer.de/massnahmen/energieeffizienzmodus/). Zugriff am 13.01.2023
- [20] Makansi, F.; Sossenheimer, J.; Petruschke, L. et al.: Influence Analysis of the Viscosity of Hydraulic Fluids on the Energy Consumption of Machine Tools. In: Littmann, K. (Hrsg.): 22nd International Colloquium Tribology. Ostfildern: Technische Akademie Esslingen e.V. 2020, S. 166–167
- [21] Frings, L.; Zins, M.: Raumlufttechnik in Unternehmen der spanenden Metallverarbeitung: Leitfaden. Stand: 2020. Internet: [eta-fabrik.de/wp-content/uploads/2020/10/Raumlufttechnik-in-Unternehmen-der-spanenden-Metallverarbeitung.pdf](http://eta-fabrik.de/wp-content/uploads/2020/10/Raumlufttechnik-in-Unternehmen-der-spanenden-Metallverarbeitung.pdf). Zugriff am 13.01.2023



**A s t r i d W e y a n d** , M.Sc.

Foto: PTWTU Darmstadt

**S t e f a n S e y f r i e d** , M.Sc. M.Sc.

**Prof. Dr.-Ing. M a t t h i a s W e i g o l d**

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)  
Technische Universität Darmstadt  
Otto-Berndt-Str. 2, 64289 Darmstadt  
Tel. +49 6151 / 822-9674  
a.weyand@ptw.tu-darmstadt.de  
[www.ptw.tu-darmstadt.de](http://www.ptw.tu-darmstadt.de)

**Dr.-Ing. P h i l i p p S c h r a m l**

Dipl.-Wirtsch.-Ing. **M a r t i n B e c k**  
ETA-Solutions GmbH  
Darmstädter Str. 239, 64625 Bensheim  
Tel. +49 6251 / 82555-33  
schraml@eta-solutions.de  
[www.eta-solutions.de](http://www.eta-solutions.de)

## L I Z E N Z



Dieser Fachaufsatzt steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)